

# VERTROUWBAARHEID DER NATUURWETTEN

DOOR

Dr. R. S. TJADEN MODDERMAN.

(Vervolg van bladz. 343.)

In 't algemeen kan men zeggen dat elke volledige gewichtsanalyse, zooals er dagelijks in de scheikundige laboratoria worden uitgevoerd, de wet opnieuw bevestigt, natuurlijk binnen de grenzen der waarnemingsfouten. De gang van zoodanig onderzoek is toch deze, dat men, nadat eerst de aard van al de bestanddeelen der stof is vastgesteld, deze elk afzonderlijk door chemische omzettingen in een toestand brengt — hetzij geïsoleerd, hetzij in eene verbinding — waarin zij zuiver kunnen worden afgescheiden en gewogen. De samenstelling hiervan moet van vroeger bekend zijn, zoodat zich berekenen laat, hoeveel van het te bepalen bestanddeel daarin voorkomt. Volgens de wet moet dat tot een gelijk gewicht voorhanden geweest zijn in zoo veel van de oorspronkelijke verbinding, als men voor de bepaling van dit bestanddeel nauwkeurig afgewogen had. Rekent men nu alles uit op 100 gewichtsdeelen der stof, dan moet het totaal gewicht van alle bestanddeelen mede 100 bevonden worden. Wegens kleine fouten in de gevolgde methoden, onnauwkeurigheden bij de uitvoering en eindelijk onvermijdelijke wegingsfouten zal de overeenstemming zelden volkomen zijn: doorgaans zal men door eenig verlies aan weegbare stof bij de verschillende manipulaties iets te min vinden, al is wegens fouten, die in tegenovergestelden zin werken, iets te veel ook mogelijk. Wat nu zeer voor de juistheid der wet pleit is dit, dat in 't algemeen meer bevredigende uitkomsten verkregen worden naar-

mate men zich langer geoefend heeft, met meer zorgvuldigheid te werk gaat, zich van gevoeliger weegschalen en betere toestellen bedient en onder de uitvoering zelf zich meer voldaan heeft gevoeld over de stiptheid waarmede alles verricht werd.

Het spreekt overigens van zelf, dat het eenigszins van het doel afhangt, waarmee de gewichtsanalyse verricht wordt, hoeveel tijd, moeite en kosten men daaraan besteedt. Het komt niet altijd op denzelfden graad van nauwkeurigheid aan: zoo zijn b.v. voor technische doeleinden de eischen meestal minder streng dan bij zuiver wetenschappelijke onderzoekingen. En ook bij de laatste zijn er verschillen, die niet nader kunnen worden aangeduid. Natuurlijk is dit niet zóó te verstaan, dat men ooit onachtzaam zou te werk gaan; het verschil ligt meer in de methoden en de toestellen, die soms eenvoudiger zijn en sneller tot het doel voeren, maar daardoor minder nauwkeurige uitkomsten geven, dan met meer omslachtige methoden en kostbare, gecompliceerde toestellen te bereiken is.

De meeste moeite geeft men zich voor die gewichtsanalysen, die het doel hebben de atoomgewichten der elementen te bepalen, of, juister gezegd, de getallen, die de verhoudingen uitdrukken, waarin de elementen zich onderling verbinden. Zooals men weet zijn die getallen voor verschillende elementen verschillend, voor 't zelfde element veelvouden van elkaar; b.v. als waterstof = 1 gesteld wordt, dan zijn die cijfers voor de zuurstof: 8, 16, 24 enz. en is éene daarvan (hier 16) het atoomgewicht.

Deze cijfers zijn constanten, waarmede men voortdurend te rekenen heeft; hoe nauwkeuriger men ze kent des te beter en van daar, dat de daartoe strekkende gewichtsanalysen voortdurend met al de verbeterde hulpmiddelen der wetenschap herhaald en telkens met de pijnlijkste zorgvuldigheid uitgevoerd worden. Zoo zijn de bovengenoemde cijfers voor de zuurstof, in 1819 vastgesteld en in 1841 door DUMAS bevestigd, sedert ten opzichte van waterstof = 1 iets te hoog bevonden, of laat men ze onveranderd, dan moet dat van de waterstof iets hooger worden gesteld (1,0032, volgens KEISER in 1888).

Hieruit volgt, dat wanneer men zich van gewichtsanalysen wil bedienen, om de grens te vinden van de betrouwbaarheid der wet van het constante der materie, men het beste van die gewichtsanalysen gebruik maakt, welke voor de bepalingen van atoomgewichten verricht zijn. Als voorbeeld kies ik de bepaling van de samenstelling

van joodzilver door STAS, den onlangs overleden Brusselschen scheikundige, wiens nauwkeurigheid van werken wereldvermaard en nog niet overtroffen is. Deze ging uit van de vrije elementen, die volgens de wet natuurlijk evenveel vóór, als na hunne vereeniging moesten wegen. Ziet hier de cijfers van twee zijner proeven:

<i>a.</i>	<i>b.</i>
I 60,0888 gram;	296,6299 gram
II 60,0860 » ;	296,6240 »
<hr/>	
Verschillen 0,0028 gram;	0,0059 gram

Achter I vindt men het totaal gewicht van jodium en zilver in proef *a* en *b* vóór, en achter II na hunne vereeniging tot joodzilver. De aftrekking doet zien, dat hij op een totaal gewicht van 60 gram nog niet recht 3 milligram en op omstreeks 300 gram ten naastenbij 6 milligram te weinig aan joodzilver verkreeg. Ook in drie andere proeven bleef de afwijking beneden een twintigduizendste van het totaal, eene uitkomst die te meer bevredigend is, omdat de elementen niet direct, maar langs chemische omwegen aan elkander verbonden werden en het ten slotte gevormd joodzilver door afwasschen met water gereinigd werd. Nog meer bevredigend vielen proeven uit met joodzuur-zilver, dat door verhitten in joodzilver en zuurstof ontleed wordt. STAS verkreeg o. a. uit 156,7859 gram van de eerstgenoemde stof:

Joodzilver..	130,1755 gram
Zuurstof...	26,6084 »
<hr/>	
156,7839 gram	

en dus slechts 2 milligram te weinig, d. i. een achtenzeventig-duizendste van het geheel.

Alle fouten, die men begaan kan bij de chemische operaties en voor STAS onvermijdelijk waren, omdat zijne proeven tot doel hadden de gewichtsverhoudingen te bepalen, waarin de elementen zich verbinden, kan men geheel ontgaan wanneer het doel uitsluitend het toetsen onzer wet is. Men sluit daartoe de gewogen stoffen, die chemisch op elkander zullen werken, luchtdicht in glazen vaten op en bepaalt daarvan het gewicht vóór en na de chemische omzetting. Dit laatste moet dan onveranderd blijven, dewijl uit de wet volgt dat de massa niet verandert van lichamen die chemische veranderingen ondergaan.

Boven is er op gewezen, dat reeds LAVOISIER dergelijke proeven nam, maar met het doel om aantetoonen dat de warmtewerkingen, die

chemische omzettingen steeds vergezellen, geene gewichtsverandering teweegbrengen.

Dergelijke proeven zijn door D. KREICHAUER genomen en in 1881 bekend gemaakt. Om sommige wegingsfouten te ontgaan (het wegen geschiedde overigens naar de nauwkeurigst bekende methoden) woog hij twee zoo mogelijk in volume en gewicht gelijke glazen vaten A en B tegen elkander en bepaalde alleen hunne kleine verschillen in gewicht, nadat zij met kwik en bromium (in elk tot een gezamenlijk gewicht van 160 gram) of met kwik en jodium (170 gram) gevuld en toegesmolten waren. Zooals bekend is verbinden zich de genoemde elementen direct met elkaar, zelfs bij de gewone temperatuur. De genoemde gewichtsverschillen bedroegen :

	kwik en bromium.	kwik en jodium.
Vóór de verbinding.....	9,310 milligr.	1,490 milligr.
Na » » in A....	9,334 »	1,467 »
» » » » B....	9,326 »	— »

Uit deze proeven trekt KREICHAUER het besluit, »dat de verandering in de aantrekking der aarde tot de gebezigde lichamen, tengevolge van de chemische krachten, beneden een twintig millioenste der totale aantrekking moet gebleven zijn". Dergelijke proeven zijn nu in 1893 ook door H. LANDOLT verricht en eveneens met alle mogelijke voorzorgen. De gewichtsverschillen door dezen gevonden in elf gevallen, waarin stoffen in glazen buizen besloten zich chemisch omzetten, bleven beneden de waarschijnlijke wegingsfouten (2—11 duizendste van een milligram); in vier andere proeven, alle met joodzuur en joodwaterstof, die zich omzetten tot jodium en water, werd eene kleine gewichtsvermindering geconstateerd, maar aangezien die, berekend op 100 gram totaal gewicht der zich omzettende stoffen, toch hoogstens 66-duizendste van een milligram bedroeg, zoo meent LANDOLT dat die te klein is om er iets met zekerheid uit afteleiden. Hij besluit dan ook dat, zoo er al, wat niet bewezen is, kleine veranderingen mochten zijn in de massa's van de elementen, al naar de toestanden waarin zij voorkomen, deze in elk geval zoo klein zijn, dat ze voor de huidige chemie niets te beteekenen hebben. Met andere woorden, en in speciale toepassing op de wet van de eeuwigheid der stof, deze is zoo nauwkeurig mogelijk, tot de uiterste grens onzer kunst van waarnemen, volkomen juist bevonden.

Meer kan men niet verlangen, tot het onmogelijke is niemand verplicht en al is het denkbaar, dat zij die na ons komen er nog iets

op zullen afdingen, veel zal dat toch vermoedelijk niet zijn en zelfs dan nog kan de wet als benaderingswet van hooge waarde blijven voor de natuurwetenschap, waaraan zij nu, dank zij LAVOISIER, reeds meer dan een eeuw lang onschatbare diensten bewezen heeft.

Boven is gezegd, dat wanneer men bij eene gewichtsanalyse van 100 gewichtsdeelen der stof uitgaat, men aan het totaal bedrag van de bestanddeelen 100 gewichtsdeelen moet terugvinden.

Doet men dit niet, maar geven de analyses ook bij herhaling afwijkingen, grooter dan zich uit de geschatte waarnemingsfouten laten verklaren, dan zoekt men in het vaste vertrouwen op onze wet de reden daarvan optesporen. Het is op deze wijze dat WINKLER te Freiberg in 1885 een element (*germanium*) ontdekte. De analyse van een nieuw, daar in de buurt gevonden zilvererts (*argyrodit*) gaf bij herhaling voor de totale som aan zilver, (omstreeks 74 pct.) zwavel (17—18 pct.) en onbeduidende hoeveelheden ijzer, kwik, tin en arseen, slechts 93 tot 94 pct. Na lang zoeken, bleek het deficit van 6—7 pct. veroorzaakt door de aanwezigheid van een nieuw element, dat als onbekend bij de voorafgegane kwalitatieve analyse aan de aandacht ontsnapt was. Het verdient opmerking, dat door deze ontdekking niet alleen de wet van LAVOISIER bevestigd werd, maar ook nog eene andere veel minder vaststaande wet, de zoogenoemde periodieke wet van MENDELEJEFF, die geheel empirisch gevonden en nog raadselachtig voor ons is.<sup>1</sup>

Het kan ook gebeuren, al is dit uit den aard van de zaak zeldzamer, dat de gewichtsanalysen meer dan 100 pct. aan bestanddeelen geven. Zoodanig geval heeft zich in 1882 aan SCHÜTZENBERGER voorgedaan bij de analyses van benzol en eenige andere koolwaterstoffen (uit Russisch petroleum), waarin hij meer dan 100 pct. aan kool- en waterstof vond. Hij verkreeg dat te veel (1 tot 1,5 pct. in meer dan 150 analyses) telkens als de koolwaterstoffen over de metalen natrium of koper gedistilleerd geweest waren en dan tot aan het onderzoek in het donker bewaard werden. Als ze daarentegen na de distillatie minstens twee uren aan het zonlicht werden blootgesteld, dan gaf de analyse weer normale cijfers. Deze vreemde bevinding is tot dus verre

---

<sup>1</sup> Zie over deze wet en het element germanium een opstel van Dr. J. W. DOYER: »Het natuurlijke stelsel der Elementen», Jaarg. 1887, bladz. 220. Ook: *Wetensch. Bijblad* 1887, bladz. 13 en 1888, bladz. 20.

niet opgehelderd; doch dewijl men er sedert niet meer van gehoord heeft, is er eenige reden om te vermoeden, dat SCHÜTZENBERGER aan de juistheid zijner waarnemingen is gaaf twijfelen en ze althans door later onderzoek niet bevestigd vond.

Dit was niet de eerste keer dat men uit koolwaterstoffen, zooals benzol en naphthaline, door de analyse meer dan 100 pct. aan koolstof en waterstof verkreeg. Niet één, maar verscheidene scheikundigen van naam vonden, omstreeks 1840, herhaaldelijk van 100,3—101,1 pct., hetgeen meer was, dan men na de vooral door LIEBIG verbeterde elementair-analyse uit de onvermijdelijke waarnemingsfouten kon verklaren. Doch het is destijds gelukt de tegenstrijdigheid volkomen optehelderen, doch op eene wijze, die nu niet meer voor 't geval van SCHÜTZENBERGER kan dienen. Het is voor ons doel van belang hierbij eenigszins uitvoerig stilstaan, omdat de opheldering aan het licht bracht, dat wel is waar aan de onveranderlijkheid van de massa niet behoefde getwijfeld te worden, maar dat het toch gevaarlijk is al te vast op de volkomene betrouwbaarheid van erkende natuurwetten te steunen.

De bovengenoemde elementair-analyse, die, gelijk gezegd is, omstreeks 1840 uit 100 deelen van verschillende koolwaterstoffen meer dan 100 aan koolstof en waterstof deed vinden, bestaat uit de volkomene verbranding der afgewogene stof door middel van koperoxyde en het opvangen en wegen van het daardoor gevormd koolzuur en water. Uit de bekende samenstelling van deze laatsten worden dan de hoeveelheden waterstof (uit het water) en koolstof (uit het koolzuur) berekend, die in de stof voorkwamen. Daar men nu, zoo als gezegd is, het te veel niet uit waarnemingsfouten kon verklaren, moest men òf veronderstellen, dat hier de wet van LAVOISIER niet streng doorging, m. a. w. dat de kool- en waterstof aan zuurstof gebonden meer wogen, dan wanneer zij onderling vereenigd waren, òf dat de fout school in de grondslagen der berekening: de aangenomene samenstelling van water en koolzuur.

Het laatste bleek het geval te zijn. BERZELIUS, wiens analyses een welverdienden naam van groote betrouwbaarheid genoten, had 20 jaren vroeger het kool-gehalte van het koolzuur en het daaruit berekend atoomgewicht van de koolstof te hoog aangenomen. Hij deed dat niet tengevolge van onnauwkeurigheid in zijne proeven, maar door van eene stelling uittegaan, die niet onder alle omstandigheden volkomen juist is.

Als men kool in zuurstof verbrandt, blijft de ruimte die het gas inneemt ten naastenbij onveranderd, dat wil zeggen als 't gas weer afgekoeld is tot de temperatuur die het bij 't begin der proef had, dan neemt het gevormd koolzuur — mits ook de druk onveranderd blijft — vrij wel dezelfde ruimte in, als de zuurstof oorspronkelijk heeft ingenomen.

Stelt men nu met LAVOISIER en alle natuurkundigen tot omstreeks 1840, dat dit niet bij benadering, maar volkomen juist is, dan is de samenstelling van het koolzuur gemakkelijk te bepalen. Eén liter van dit gas moet dan uit zooveel zuurstof bestaan als bij gelijke temperatuur en druk juist in één liter van dit laatste gas voorhanden is en uit zooveel gewichtsdeelen kool, als het gewicht van één liter koolzuur dat van één liter zuurstof te boven gaat. Bij de verbranding immers wordt de kool gelijkmatig over de deeltjes zuurstof verspreid en geschiedt dit zonder uitzetting, dan moet het gas soortelijk zwaarder worden, d. i. bij gelijk volume meer gaan wegen en wel, volgens de wet van LAVOISIER, juist zooveel als 't gewicht der opgenomen kool bedraagt.

BERZELIUS bepaalde nu, gemeenschappelijk met DULONG, zoo nauwkeurig mogelijk de gewichten van gelijke volumina (soortelijke gewichten) zuurstof en koolzuur. Zij vonden, dat als het gewicht van één volume lucht = 1 gesteld wordt, dat van zuurstof 1,1026 en van koolzuur 1,5245 bedraagt. Het verschil dezer laatste cijfers (0,4219) moet dan het gewicht der kool zijn, die met 1,1026 gewichtsdeelen zuurstof zich verbindt tot 1,5245 gewichtsdeelen koolzuur.

Stelt men het atoomgewicht van de zuurstof = 16 en neemt men, gelijk om goede redenen gedaan wordt, in een molecule koolzuur twee atomen of 32 gew. dln. zuurstof aan, dan zal de hoeveelheid koolstof daarmede verbonden, volgens de evenredigheid:  $1,1026 : 32 = 0,4219 : x$ , gelijk  $\frac{0,4219}{1,1026} \times 32$  of 12,24 moeten zijn. Eén molecule koolzuur weegt dan 44,24 gew. dln. en bestaat uit 32 gew. dln. zuurstof (2 atomen) en 12,24 gew. dln. koolstof (1 atoom).<sup>1</sup>

Berekend met dit atoomgewicht, of wat op 't zelfde neerkomt met de opgegevene cijfers voor de samenstelling van het koolzuur, vond

<sup>1</sup> De redenen waarom men in een molecule, d. i. het kleinst mogelijk afzonderlijk bestaanbaar deeltje koolzuur, twee atomen zuurstof aanneemt, doch slechts één atoom kool kan hier niet worden uiteengezet. Ook BERZELIUS deed dit reeds, maar hij stelde het atoomgewicht van de zuurstof = 100, waardoor dat van de koolstof  $\frac{12,24}{16} \times 100 = 76,5$  wordt.

men nu en dan in naphthaline, benzol en andere koolwaterstoffen meer dan 100 pct. aan koolstof en waterstof. De hoeveelheid van de laatste was uit de aangenomene samenstelling voor het water (2 gewichtsdeelen tegen 16 gew. dln. zuurstof) berekend. Daar het weinig waarschijnlijk was, dat daarin de fout kon schuilen, zocht men die in de aangenomene cijfers voor koolstof en koolzuur.<sup>1</sup>

Tal van scheikundigen bepaalden nu op verschillende wijzen het atoomgewicht van de koolstof op nieuw en vonden eenstemmig, dat het cijfer van BERZELIUS te hoog en het atoomgewicht vrij nauwkeurig = 12,0 (in plaats van 12,2) was. Derhalve had men tot dusverre uit het bij de elementair-analyse verkregen koolzuur te veel koolstof becijferd en aan de geanalyseerde stof toegekend. Dat de fout niet eerder aan het licht kwam verklaart zich ten deele hieruit, dat de meeste organische stoffen, behalve kool- en waterstof, nog andere elementen bevatten, waaronder doorgaans zuurstof, en men destijds algemeen (ook tegenwoordig nog veelal) dit laatste element niet direct bepaalde. M. a. w. als zuurstof werd in rekening gebracht wat aan de door de analyse gevonden procenten der andere elementen ontbrak om de 100 gewichtsdeelen der organische stof te verantwoorden. Zóoveel gewicht aan kool als men dus te veel in zuurstofhoudende verbindingen aannam, des te minder berekende men aan dat laatste element. Daarentegen moest bij de analyse van stoffen, die alleen uit koolstof en waterstof bestonden de fout aan den dag komen, omdat hier alle elementen direct bepaald werden. Met het nieuwe cijfer voor het atoomgewicht der koolstof, dat 2 pct. lager was, verdween de anomalie en was dus op nieuw gebleken, dat de massa der grondstoffen in alle verbindingen onveranderd blijft. Trouwens had niemand daaraan getwijfeld, doch, wat begrijpelijk is, men was, vóórdat de vergissing van BERZELIUS was opgehelderd, in 't algemeen de nauwkeurigheid van diens proeven gaan wantrouwen. Deze had, zooals men weet, niet alleen van koolstof en waterstof, maar van bijna alle destijds bekende elementen de atoomgewichten bepaald en zijne cijfers, die algemeen voor de beste en nauwkeurigste golden, waren algemeen aangenomen.

Met grooten ijver werd daarom door verschillende scheikundigen

---

<sup>1</sup> Wel is waar heeft men in den laatsten tijd gevonden, dat de samenstelling van water nauwkeuriger wordt uitgedrukt door 2 gewichtsdeelen waterstof tegen 15,95 gew. dln. zuurstof, (overeenkomende met 2,0064 waterstof tegen 16 zuurstof), maar het verschil wordt hierdoor nog iets grooter.



eene revisie der atoomgewichten ondernomen, doch in weerwil dat men door den vooruitgang der wetenschap over veel verbeterde hulpmiddelen kon beschikken, kwam men toch voor de meeste elementen tot nagenoeg dezelfde cijfers, als BERZELIUS ruim een kwart eeuw vroeger met eenvoudiger hulpmiddelen verkregen had. De fout in het atoomgewicht van de koolstof bleef de eenige belangrijke en de meeste nieuwe bepalingen dienden alleen om de vroegere uitkomsten van BERZELIUS te bevestigen.

Boven is gezegd, dat de fout van deze in de veronderstelling bestaan had, dat als men kool in zuurstof verbrandt het volume volkomen onveranderd blijft. Hij maakte die in goed geloof op de strenge geldigheid van eenige belangrijke natuurwetten, die met elkander in verband staan, op gassen betrekking hebben, maar — wat men destijds niet wist — alle slechts bij benadering juist zijn. Men noemt ze naar de ontdekkers GAY-LUSSAC (éene physische en drie chemische) en BOYLE. Voor ons doel is 't voldoende ons bij de laatste te bepalen, die in 1662 door den genoemden Engelschen scheikundige gevonden, langen tijd naar den Franschen natuurkundige MARIOTTE genoemd werd, die haar het eerst (1679) algemeen bekend maakte. Deze wet komt hierop neer, dat de dichtheid van eenig gas evenredig is aan den druk waaronder het staat, of anders gezegd, dewijl de dichtheid omgekeerd evenredig is aan het volume, dat de ruimte door eene bepaalde hoeveelheid van eenig gas ingenomen omgekeerd evenredig is aan den druk waaronder het verkeert. Zoo zal b.v. één liter lucht, onder den druk van éene atmosfeer staande, tot een halven liter inkrimpen, wanneer men dien druk tot 2 atmosferen doet toenemen en daarentegen zal die éene liter zich tot 2 liter uitzetten, wanneer men den druk tot op een halve atmosfeer vermindert. Deze wet nu geldt voor alle gassen, maar is tevens voor geen enkel gas streng geldig. Aanvankelijk nemen alle door vermeerdering van druk eene iets kleinere ruimte in, dan de wet verlangt, m. a. w. zij laten zich eerst iets meer samendrukken, dan zich uit de wet berekenen laat, totdat zij bij toenemenden druk — nadat zij een korten tijd binnen zekere grenzen streng aan de wet voldaan hebben — in tegenovergestelden zin gaan afwijken en hun volume in mindere mate verkleinen, dan men uit den toenemenden druk zou verwachten.<sup>1</sup> Men weet thans die afwijkingen te verklaren uit twee omstandigheden.

---

<sup>1</sup> Bij waterstof is tot nu toe alleen deze laatste afwijking waargenomen.

De eerste is dat de gasmoleculen, d. w. z. de geïsoleerde gasdeeltjes, wel is waar een verbazend klein volume beslaan, maar dat toch niet geheel te verwaarloozen is in betrekking tot de vrije tusschenruimten, en wel te minder naarmate het gas meer is samengedrukt. De tweede reden is dat de gasmoleculen, die men zich in heftige lijnrechte bewegingen denkt en aanhoudend tegen elkander botsend, zoodat zij voortdurend van koers veranderen, maar in dier voege dat het eene juist zooveel in snelheid wint als het andere daardoor verliest, toch niet geheel zonder eenige aantrekking op elkander zijn. Beide redenen werken in tegenovergestelden zin: door de laatste wordt het volume iets kleiner, door de eerste iets grooter dan de wet verlangt en elk gas kan daarom tusschen bepaalde grenzen schijnbaar streng aan de wet voldoen, doch slechts doordien beide werkingen elkander opheffen. Men heeft den invloed van beide uitvoerig bestudeerd en onze landgenoot, de hoogleeraar v. D. WAALS, is er zelfs in geslaagd de wet van BOYLE door eene wiskundige formule uit te drukken, waarin rekening gehouden wordt met beide werkingen. Men kan zeggen dat in dien verbeterden vorm de gassen streng aan de wet voldoen, maar deze is natuurlijk nu geen eenvoudige wet meer en rekt met twee grootheden, die voor elk gas telkens eene andere waarde aannemen, omdat de ruimten door de moleculen ingenomen en de cohaesie, die deze ten opzichte van elkander bezitten, voor elk gas anders wordt.

Men ziet de natuur is niet zoo eenvoudig als wij ons steeds geneigd zijn voortstellen: aan de uiterst eenvoudige wet, zooals BOYLE en MARIOTTE die formuleerden, voldoet geen enkel bestaand gas. Wel kunnen wij ons zulk een ideaal gas *denken*: zijne kleine deeltjes zouden zoo bescheiden moeten zijn in 't geheel geen ruimte intemen en elkaar niet in 't minste aantrekken. In 't algemeen worden de afwijkingen van de wet grooter, als een gas door afkoeling en vermeerderden druk de grenzen begint te naderen, die het niet overschrijden kan zonder in eene vloeistof overtegaan: van daar dat de onregelmatigheden het eerst zijn waargenomen bij de gemakkelijk verdichtbare gassen. Reeds in 't laatst der vorige eeuw constateerde VAN MARUM te Haarlem bij ammoniakgas eene te groote samendrukbaarheid en hetzelfde werd in 1818 door OERSTEDT te Kopenhagen aan zwaveligzuur waargenomen.

Uit een brief van BERZELIUS aan LIEBIG van 29 April 1841<sup>1</sup>

<sup>1</sup> BERZELIUS und LIEBIG. — *Ihre Briefe von 1831—1845*, herausgegeben von J. CARRIÈRE, München und Leipzig, 1893.

blijkt dat eerstgenoemde met dit laatste bekend was en tevens dat hij zeer goed inzag waarin de fout in zijn bepaling van het atoomgewicht der koolstof te zoeken was. Want, zoo gaat hij voort, na op de bevinding van OERSTEDT gewezen te hebben: »tijdens ik met »DULONG gemeenschappelijk arbeidde, 1818—1819, wisten wij nog »niet dat het koolzuurgas verdicht kon worden en moesten wij aan»nemen, dat dit gas door de atmosfeer evenredig aan zuurstof en »dampkringslucht saamgedrukt werd. Sedert FARADAY de verdicht»baarheid van 't koolzuurgas ontdekte, heb ik over dat onderwerp »niet meer gedacht, voordat onlangs DUMAS het atoomgewicht van de »koolstof in twijfel trok... Ik ben er nu in geslaagd een hier (te »Stockholm) woonachtigen, handigen natuuronderzoeker, den baron »FABIAN WREDE, overtehalen om het soortelijk gewicht van het kool»zuur te onderzoeken.”

Deze deed dit niet alleen, maar bepaalde tevens het soortelijk gewicht van zuurstof en kooloxyde onder verschillende drukkingen. Om de afwijkingen van de wet van BOYLE te ontgaan, werden de proeven herhaald bij hoogere temperatuur (100° C.) en inderdaad verkreeg hij daardoor uitkomsten, (soort. gew. van zuurstof 1,1052; van koolzuur 1,52037 en van kooloxyde 0,96779) waaruit hij het atoomgewicht der koolstof op 12,022 berekende, terwijl de nieuwste bepalingen van LIEBIG, MARIIGNAC, DUMAS en STAS als gemiddelde 12,00 opleverden. Werden daarentegen de soortelijke gewichten bij de gewone temperatuur en druk met elkander vergeleken, zooals BERZELIUS en DULONG gedaan hadden, dan viel het atoomgewicht van de koolstof 2 pct. hooger uit. De reden daarvan is dat bij gewone temperatuur en druk zuurstof en kooloxyde vrij nauwkeurig aan de wet van BOYLE voldoen, maar koolzuur niet: de ruimte die het inneemt is iets te klein en zijn soortelijk gewicht dus iets te groot. Verbrandt men kool in een liter zuurstof, bij de gewone temperatuur en druk afgemeten, dan verkrijgt men na de verbranding en de herstelling tot de oorspronkelijke temperatuur en druk niet juist één liter koolzuur, maar iets minder. Door die kleine inkrimping te verwaarloozen en te rekenen alsof aan één liter zuurstof één liter koolzuur beantwoordde, nam dus BERZELIUS de hoeveelheid van dit laatste iets te groot aan, welk te veel geheel als kool in de rekening werd opgenomen.

De moeilijkheid was hiermede geheel opgelost: men kon met LAVOISIER blijven aannemen dat de elementen in de verschillende ver-

bindingen niet van massa veranderen en ook de nauwkeurigheid van BERZELIUS als experimentator had zich op nieuw bewaarheid. Toch had hij eene fout begaan; maar deze school in de berekening, die iedereen juist voorkwam, omdat niemand de onvertrouwbaarheid der grondslagen doorzag. De uitkomst doet overtuigend zien, hoe gevaarlijk het is al te vast op de juistheid van erkende natuurwetten te bouwen, die altijd blootstaan aan herziening, ja zelfs aan geheele verwerping, ten gevolge van later meer nauwkeurig of meer uitgebreid onderzoek.

De verbetering in het atoomgewicht van de koolstof had nog een ander gevolg. De mensch — ook de scheikundige — is een onverbeterlijk idealist, en in weerwil dat men pas aan de wet van BOYLE ondervonden had, hoe weinig op de eenvoudigheid van ware natuurwetten te bouwen is, was het nu voor de kool vastgestelde cijfer (juist 12 als zuurstof = 16, of juist 75 als zuurstof = 100 gesteld wordt) oorzaak, dat men op eene oude, naar men zou meenen reeds versletene natuurwet terugkwam. Deze, de zoogenoemde wet van PROUT, was eigenlijk nooit meer geweest dan een gissing en had hoogstens aanspraak op den naam van hypothese. Zij komt hierop neer, dat de atoomgewichten van alle elementen veelvoudigen zouden zijn van het kleinste atoomgewicht, dat der waterstof. Stelt men dit = 1, dan zouden dus de atoomgewichten der andere elementen nauwkeurig worden uitgedrukt door geheele getallen. De gissing schijnt niet het eerst gemaakt op grond van verkregen uitkomsten. Nadat PROUT ze in 1815 geopperd had, vond zij bijval bij zijn landgenoot TH. THOMSON, die haar goed recht door tal van analyses zocht te bewijzen. Doch zijne analyses waren, zelfs voor dien tijd, vrij slecht en konden in nauwkeurigheid geenszins in vergelijking komen met die van BERZELIUS, destijds op het punt van atoomgewichten de eerste autoriteit. Deze nu verklaarde er zich tegen en toen nu ook in Engeland TURNER door een reeks van goede bepalingen, in 1829 en volgende jaren, groote fouten in de cijfers van THOMSON had aangetoond en uitkomsten verkreeg, die met die van BERZELIUS goed overeenstemden, daarentegen niet met de hypothese van PROUT rijmde, scheen de laatste geheel te hebben afgedaan. Toch bleven er enkele voorstanders, die haar noode zagen verdwijnen. De reden was het diep geworteld geloof aan de eenvoudige inrichting van het heelal. Namen de ouden daarom slechts vier grondstoffen aan, die bovendien in elkander konden overgaan, zóodat

er eigenlijk slechts éene oorspronkelijke stof was, het streng op de ervaring gegrond natuuronderzoek, dat in de chemie met LAVOISIER begon, maakte het aannemen van steeds meer dezer grondstoffen noodzakelijk. Had men er ten tijde van LAVOISIER reeds over de 50, omstreeks 1840 was het bekende aantal tot boven de 60 geklommen. De wet van PROUT nu komt aan onze behoefte naar eenvoud te hulp. Neemt men ze aan, dan laat zich alle materie als een denken. De waterstof wordt de eenige grondstof: door de verdichting van een zeker aantal waterstofatomen ontstaan de atomen van alle overige elementen. Zeven atomen waterstof verdichten zich tot één atoom lithium, 12 tot koolstof, 16 tot zuurstof enz., totdat eindelijk uit 240 atomen het uranium-atoom gevormd is, het meest gecompliceerde van alle.

De bevinding van DUMAS en STAS, dat het juiste cijfer voor het atoomgewicht der koolstof niet 12,2 maar 12 was, deed nu het geloof aan de reeds half vergeten hypothese weer herleven. Toen nu de eerstgenoemde twee jaren later van zuurstof het atoomgewicht vrij nauwkeurig = 16 vond, van stikstof = 14 en van het metaal calcium = 40, vond de hypothese zooveel bijval, dat het sedert dien tijd voor niet weinig scheikundigen een geloofsartikel gebleven is. Toch was het verder onderzoek voor de hypothese niet gunstig. STAS, die aan de koolstofbepalingen van DUMAS te Parijs deelgenomen had, wijdde zich, na zijne vestiging te Brussel, aan een uitgebreid onderzoek der atoomgewichten van zilver, chloor, broom, jodium, kalium, zwavel en nog een paar andere elementen; maar ofschoon hij als een beslist voorstander van de hypothese aan het werk ging, werd hij door de uitkomst van zijn uiterst nauwkeurige bepalingen, die nog altijd als het onovertreffbaar model van pijnlijke zorgvuldigheid gelden, een beslist tegenstander. De eenvoudigheid in de gewichtsverhoudingen, zoo luidde zijne conclusie, die naar de hypothese van PROUT bij chemische processen in werking komen, wordt proefondervindelijk niet gevonden; zij bestaat in de werkelijkheid niet. Zelfs DUMAS, die van meer dan 20 elementen het atoomgewicht bepaalde en soms niet geheel zonder willekeur de cijfers afrondde, zag zich toch gedwongen voor sommige elementen, zooals chloor, magnesium, nikkel, cobalt en lood, aantenemen, dat hun atoomgewicht geen heele maar slechts halve veelvouden van dat van de waterstof waren. Doet men dit — en men is zelfs nog één stap verder gegaan, zooals voor zink en aluminium wier atoomgewichten veelvouden van  $\frac{1}{4}$  van dat der

waterstof zouden zijn — dan gaat de eenvoudigheid geheel verloren, ten believe waarvan de hypothese werd opgesteld.

Wanneer er nu nog altijd voorstanders van de wet van PROUT zijn, die terecht tegenwoordig gewoonlijk weer hypothese genoemd wordt, dan is het hoofdzakelijk hierom, omdat van vele elementen de thans meest waarschijnlijke atoomgewichten, zoo zij geen afgeronde heele getallen zijn, daartoe althans min of meer naderen en men meent dat dit niet toevallig zijn kan. Reeds MARGNAC vestigde daarop in 1865 de aandacht en offerde het gevoelen of niet mogelijkerwijze de wet van PROUT, e. a. die van BOYLE, toch een reëlen grondslag hebben kon, maar ten gevolge van secundaire werkingen, die storingen teweegbrachten in de verhoudingen, in de praktijk slechts bij benadering juist kon schijnen. Bestaan dergelijke storende werkingen, dan zou men die met LOTHAR MEYER aan den aether kunnen toeschrijven, die volgens de lichttheorie de geheele wereldruimte vervult, alle stof doordringt en misschien niet totaal gewichtloos is. Die aether, min of meer verdicht rondom de atomen, zou dan bij chemische omzettingen in veranderlijke hoeveelheden medegaan, zoodat dientengevolge de gewichtsverhoudingen zich nooit zuiver door heele getallen van de atoomgewichten lieten uitdrukken.

Doch was deze hypothese aannemelijk, dan moesten niet van vele, maar van alle elementen de atoomgewichten tot geheele getallen naderen. En juist onder degene, die het nauwkeurigst bekend zijn, vindt men vrij groote afwijkingen. Zoo is het atoomgewicht van zilver 107,693 (waterstof = 1) en van jodium 126,460. En nu vond LANDOLT in de boven (bladz. 360) besproken proeven, dat deze elementen — binnen de grenzen der mogelijke wegingsfouten — in verbindingen juist evenveel wogen als in vrijen staat. Van een gewichtsverandering, door dien in- en uitredenden aether veroorzaakt, was dus volstrekt niets te bespeuren en toch had men mogen verwachten dat, zoo ooit, zij hier duidelijk voor den dag kwam. LANDOLT is dan ook van meening, dat hiermee de laatste uitweg versperd is, die voor de hypothese van PROUT nog was opengebleven.

Hiermede zal, hoop ik, voldoende betoogd zijn wat boven van de natuurwetten, zooals wij die kennen, beweerd is. Wellicht hebben mijne beschouwingen bij dezen of genen lezer den eerbied voor onze natuurkennis niet verhoogd. Doch zoo dit het geval mocht zijn, dan rijst de vraag of die eerbied wel op juiste beweeggronden rustte. De

grootsche uitkomsten, in onze eeuw door de onderzoekers verkregen en in populaire geschriften bij voorkeur in het licht gesteld en hemel-hoog geprezen, doen velen een te hoog denkbeeld opvatten van de zekerheid en onbedrieglijkheid der natuurkundige methode.

Het scheen daarom niet overbodig er eens uitdrukkelijk de aandacht op te vestigen, dat al is het streven der natuuronderzoekers geenszins ijdel en al steekt er — getuige hunne vindingen — een gezonde kern in hunne beschouwingen, deze toch geenszins onbedrieglijk zijn en als grove benaderingen tot »de waarheid'' eene voortdurende herziening behoeven. De quintessens van onze natuurkennis wordt telkens geformuleerd in regels, in zoogenoemde wetten, die de vaste punten aangeven om de beelden te construeeren van de werkelijkheid, gelijk wij die zien. Hoe zou het mogelijk zijn dat die wetten iets meer waren dan tijdelijke waarheden? Wij gebruiken ze als uitnemende hulpmiddelen voor verder onderzoek, wij houden ze aan zoolang ze ons diensten bewijzen, en als wij ze versleten hebben vervangen wij ze door nieuwe, die in ons oog de eeuwige waarheid weer iets nader bijkomen, hoewel wij weten dat wij die nooit geheel zullen bereiken. Wat wil men meer? Is het niet verstandig ons, zonder ijdele zelfvergoding en waanwijze overschatting, tevredentestellen met het voor ons bereikbare en het niet hooger aan te slaan dan het waard is?

---